

IAP20 Rec'd PCT/PTO 24 JAN 2006  
1

## Beschreibung

Verfahren zur Ermittlung eines Verbindungspfades und eines  
5 zugehörigen unbelegten Wellenlängenkanals

Im Zuge des schnellen Wachstums des Internets ist der Bedarf an zur Verfügung stehender Übertragungsbandbreite in den letzten Jahren überproportional stark angestiegen. Fort-  
10 schritte in der Entwicklung von optischen Übertragungssystemen, insbesondere bei auf der Wavelength Division Multiplexing (WDM) Technologie basierenden Übertragungssystemen, haben zur Realisierung von hohen Übertragungsbandbreiten beigetragen. Hierbei kommt den transparenten optischen Übertra-  
15 gungssystemen eine besondere Bedeutung zu, die eine vollständige Übertragung von Datensignalen im optischen Bereich, d.h. ohne opto-elektrische bzw. elektro-optische Konversion der Datensignale, ermöglichen.

20 Transparente optische Übertragungssysteme sind aus mehreren über optische Übertragungsstrecken miteinander verbundenen optischen Netzknoten aufgebaut. Hierbei werden optische Wellenlängenkanäle zur Übertragung der optischen Datensignale, insbesondere von optischen WDM-Signalen, vorgesehen. Ein der-  
25 artiges transparentes optisches Übertragungssystem ermöglicht den Aufbau von optischen Verbindungen zwischen zwei Teilnehmern, wobei hierzu jeder optischen Verbindung ein ausgewählter Verbindungspfad durch das transparente optische Übertragungssystem sowie ein auf diesem Verbindungspfad verfügbarer,  
30 d.h. unbelegter, Wellenlängenkanal zugeordnet werden. Beim Verbindungsaufbau wird ein Verbindungspfad mit einem durchgängig verfügbaren Wellenlängenkanal ermittelt, über den der Verbindungsaufbau erfolgen kann. Für den Fall das in den einzelnen optischen Netzknoten keine Wellenlängenkonversionseinrichtungen vorgesehen sind, ist es erforderlich, daß zum Auf-  
35 bau einer Verbindung zwischen einem ersten Netzknoten und einem mit diesem beispielsweise über mehrere weitere optische Netzknoten verbundenen zweiten Netzknoten auf den einzelnen optischen Übertragungsstrecken des ausgewählten Verbindungs-

pfades jeweils derselbe Wellenlängenkanal durch keine weitere optische Verbindung belegt ist.

Für den Aufbau einer neuen optischen Verbindung ist somit zunächst ein optischer Verbindungspfad und ein auf diesem verfügbarer Wellenlängenkanal zu ermitteln. Dieses Problem ist in der Fachwelt als "dynamisches RWA" ("Routing and Wavelength Assignment") - Problem bekannt. Daneben gibt es noch ein "statisches RWA" - Problem, bei dem alle Verbindungsanforderungswünsche bereits simultan bekannt sind - siehe hierzu Zang et al. "Dynamic Lightpath Establishment in Wavelength-Routed WDM Networks", IEEE Communication Magazine, September 2001, Seiten 100 bis 108.

Zur Lösung des dynamischen RWA-Problems ist die Kenntnis der Belegung der Wellenlängenkanäle innerhalb des transparenten optischen Übertragungssystems erforderlich, so daß spätestens bei Bearbeitung einer Verbindungsanforderung ein Verbindungspfad mit noch freien Wellenlängenkanälen bestimmt werden kann. Die a-priori Kenntnis der Netzauslastung des transparenten optischen Übertragungssystems sollte dabei möglichst zuverlässig sein, um fehlerhafte Verbindungsaufbauten nahezu zu vermeiden.

Beim eigentlichen Verbindungsaufbau wird der ermittelte Wellenlängenkanal auf allen optischen Übertragungstrecken des Verbindungspfades belegt und steht damit für weitere Verbindungsanforderungen nicht mehr zur Verfügung. Im folgenden wird der Fall betrachtet, daß die aktuelle Netzauslastung, d.h. die Belegung aller Wellenlängenkanäle auf den unterschiedlichen optischen Übertragungstrecken des transparenten optischen Übertragungssystems bekannt ist. Folgende Kriterien sollte unter diesen Voraussetzungen eine gute Lösung des dynamischen RWA-Problems erfüllen:

- eine möglichst geringe Blockierwahrscheinlichkeit für die aktuellen, aber auch für alle zukünftigen Verbindungsanforderungen;

- möglichst große Effizienz der Lösung.

Das dynamische RWA-Problem wird beispielsweise dadurch gelöst, daß zuerst ein Verbindungspfad und im Anschluß daran ein auf dem ausgewählten Verbindungspfad zur Verfügung stehender, d.h. noch unbelegter Wellenlängenkanal ermittelt wird. Alternativ kann auch zunächst ein Wellenlängenkanal innerhalb des transparenten optischen Übertragungssystems ausgewählt werden und im Anschluß daran zu diesem ein passender Verbindungspfad ermittelt werden.

- **zuerst Verbindungspfad, dann Wellenlängenkanal**

Aus der Veröffentlichung "Importance of wavelength conversion in an optical network", John Strand, Robert Doverspike und Guangzhi Li in Optical Networks Magazine May/June 2001 ist ein Verfahren bekannt, bei dem zunächst die k hinsichtlich der Linkgewichte kürzesten Verbindungspfade zwischen den Endpunkten einer geplanten Verbindung ermittelt werden. Auf den ermittelten Verbindungspfaden wird die aktuelle Belegung der Wellenlängenkanäle untersucht und anhand einer "figure-of-merit" bewertet. Der günstigste Verbindungspfad wird anschließend ausgehend von der "figure-of-merit" ausgewählt. Für die "figure-of-merit" und die Auswahl der Wellenlängenkanäle werden u.a. die folgenden Heuristiken vorgeschlagen:

- **"first-fit"**: Die Wellenlängenkanäle werden willkürlich geordnet, d.h. mit einem Index versehen. Für den Verbindungsaufbau wird dann der Verbindungspfad ausgewählt, auf dem der Wellenlängenkanal mit dem kleinstmöglichen Index noch unbelegt ist.
- **"most-used wavelength"**: Ein Wellenlängenkanal ist um so besser, je häufiger dieser im gesamten Übertragungssystem für den Aufbau von Verbindungen eingesetzt wird. Daneben gibt es noch ein komplizierteres Verfahren, bei dem die Bewertung mittels eines "route similarity ratio" erfolgt.

Der hauptsächliche Nachteil dieser Verfahren besteht darin, daß von vornherein nur eine bestimmte Anzahl  $k$  von Verbindungspfaden betrachtet wird. Es ist nämlich durchaus möglich, daß auf den betrachteten  $k$  Verbindungspfaden kein oder nur ein Wellenlängenkanal mit einer schlechten "figure-of-merit" frei ist, während günstige Wellenlängenkanäle auf nicht betrachteten Verbindungspfaden noch verfügbar sind, die genauso lang oder nur unwesentlich länger sind als die  $k$  kürzesten Verbindungspfade. Dieser Nachteil wirkt sich besonders gravierend aus, da  $k$  innerhalb des optischen Übertragungssystems möglichst klein gewählt werden sollte, um den Rechenaufwand zu begrenzen.

**15 - zuerst Wellenlängenkanal, dann Verbindungspfad**

Hier wird das RWA-Problem zunächst umformuliert, indem das aus einer Vielzahl von Verbindungspfaden, insbesondere WDM-Verbindungspfaden bestehende transparente optischen Übertragungssystem in eine Zahl von virtuellen optischen Sub-Übertragungsnetzen gleicher Struktur überführt wird, wobei jedem dieser virtuellen optischen Sub-Übertragungsnetze genau ein Wellenlängenkanal zugeordnet wird (siehe Figur 2). Jede Übertragungsstrecke in einem der virtuellen optischen Sub-Übertragungsnetze kann höchstens von einer Verbindung genutzt werden. Diese virtuellen optischen Sub-Übertragungsnetze sind nicht miteinander verbunden, d.h. es ist keine Wellenlängenkonversion innerhalb der virtuellen optischen Sub-Übertragungsnetze vorgesehen. Die Teilnehmeranschlußeinrichtungen sind an alle virtuellen optischen Sub-Übertragungsnetze angeschlossen. Das RWA-Problem besteht nun darin, in dem resultierenden optischen Übertragungssystem einen Verbindungspfad zu finden, wobei der Wellenlängenkanal bereits durch das ausgewählte virtuelle optische Sub-Übertragungsnetz bestimmt wird. Zur Ermittlung eines geeigneten Verbindungspfades werden die einzelnen virtuellen optischen Sub-Übertragungsnetze nacheinander beispielsweise mittels des "Dijkstra-Algorithmus" daraufhin untersucht, ob einer den oben genannten Bedin-

gungen genügender Verbindungspfad zum Aufbau einer Verbindung zwischen den beiden Teilnehmern verfügbar ist. Der erste in einem der virtuellen optischen Sub-Übertragungsnetze gefundene Verbindungspfad wird für den Verbindungsaufbau verwendet.

- 5 Für die Reihenfolge, in der die unterschiedlichen virtuellen optischen Sub-Übertragungsnetze untersucht werden, werden u.a. die folgenden Heuristiken vorgeschlagen:

- 10 - **"fixed"**: die Wellenlängenkanäle weisen eine feste Reihenfolge auf;
  - **"pack"**: die Wellenlängenkanäle werden nach abnehmender Nutzungshäufigkeit im gesamten optischen Übertragungssystem geordnet;
  - 15 - **"exhaustive"**: stets alle virtuellen optischen Sub-Übertragungsnetze werden durchsucht und der kürzeste aller Verbindungspfade (zusammen mit der zugehörigen Wellenlängenkanal) ausgewählt.
- 20 Nachteilig wird bei den Heuristiken **"fixed"** und **"pack"** u.U. ein Verbindungspfad ausgewählt, der zwar einen günstigen Wellenlängenkanal verwendet, dessen Verbindungspfad jedoch unverhältnismäßig lang ist, d.h. sehr viele Ressourcen innerhalb des transparenten optischen Übertragungssystems belegt.
- 25 Umgekehrt wird zwar bei der Heuristik **"exhaustive"** stets der kürzeste Verbindungspfad selektiert, und zwar auch dann, wenn der zugeordnete Wellenlängenkanal ungünstig ist, obwohl ein nur unwesentlich längerer Verbindungspfad mit einem viel günstigeren Wellenlängenkanal vorhanden wäre. Unter günstigen
- 30 Wellenlängenkanälen sind im betrachteten Kontext Wellenlängenkanäle zu verstehen, die bereits häufig im betrachteten optischen Übertragungssystem verwendet wird. Diese sollten zur Reduzierung der Blockierungsraten noch häufiger verwendet werden, um andere Wellenlängenkanäle unbenutzt zu lassen. Ein
- 35 Kompromiß zwischen den beiden Zielen günstiger Wellenlängenkanal, d.h. geringe Blockierungsrate für nachfolgende Verbindungsanforderungen, und kurzer Weg, d.h. geringer Ressourcenverbrauch, ist nicht realisierbar.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist darin zu sehen, ein verbessertes Verfahren zur Ermittlung eines Verbindungspfad und eines auf den optischen Übertragungsstrecken des  
5 Verbindungspfad unbelegten Wellenlängenkanals für den Aufbau einer Verbindung innerhalb eines transparenten optischen Übertragungssystems anzugeben, das eine geringer Blockierungsrate und einen kleinen Ressourcenverbrauch innerhalb des optischen Übertragungssystems ermöglicht.

10

Die Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

15 Der wesentliche Aspekt des Verfahrens zur Ermittlung eines Verbindungspfad und eines auf den optischen Übertragungsstrecken dieses Verbindungspfad unbelegten Wellenlängenkanals für den Aufbau einer Verbindung über mindestens einen ersten und zweiten Netzknoten innerhalb eines transparenten  
20 optischen Übertragungssystems mit einer Vielzahl von über optischen Übertragungsstrecken miteinander verbundenen weiteren Netzknoten ist darin zu sehen, daß jeweils ein von der optischen Übertragungsstrecke und von dem betrachteten Wellenlängenkanal abhängiges Linkgewicht für die Wellenlängenkanäle  
25 einer optischen Übertragungsstrecke ermittelt wird. Anschließend wird für jeden für den Verbindungsaufbau verfügbaren Verbindungspfad und den zugehörigen Wellenlängenkanal durch Auswertung des mindestens einen Linkgewichts ein Verbindungskostenwert gebildet und für den Aufbau der Verbindung der den  
30 minimalen Verbindungskostenwert aufweisende Verbindungspfad mit dem zugehörigen Wellenlängenkanal ausgewählt. Vorteilhaft werden beim erfindungsgemäßen Verfahren die beiden Kriterien günstige Wellenlänge und die Eigenschaften der optischen Übertragungsstrecke wie beispielsweise Länge, Dämpfungsscharakteristika oder auch Benutzungshäufigkeit etc. in einem von  
35 diesen Kriterien abhängigen Linkgewicht bei der Ermittlung des Verbindungspfad und eines zugehörigen Wellenlängenkanals gemeinsam berücksichtigt. Hierbei wird bereits benutzten

Wellenlängenkanälen einer Übertragungsstrecke beispielsweise ein Linkgewicht mit dem Wert unendlich zugewiesen. Aus den ermittelten Linkgewichten eines Verbindungspfades und des zugehörigen Wellenlängenkanals wird ein Verbindungskostenwert gebildet, der die Kosten bzw. den Ressourcenaufwand für den Aufbau der Verbindung über den betrachteten Verbindungspfad und Wellenlängenkanal angibt. Ausgehend von den gebildeten Verbindungskostenwerten wird für den Verbindungsaufbau der einen minimalen Verbindungskostenwert aufweisende Verbindungspfad mit dem zugehörigen Wellenlängenkanal ausgewählt. Hierdurch werden die Nachteile der aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren, insbesondere der für die Ermittlung des Verbindungspfades einschließlich des Wellenlängenkanals erforderliche hohe Rechenaufwand, vermieden.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist darin zu sehen, daß jedem Wellenlängenkanal ein netzweites Kanalgewicht zugeordnet wird und das netzweite Kanalgewicht mit Hilfe einer Kanalgewichtsfunktion ermittelt wird. Hierdurch wird besonders vorteilhaft ein mit einfachen technischen Mitteln bestimmbares netzweites Kanalgewicht ermittelt.

Vorteilhaft wird das transparente optische Übertragungssystem in eine Anzahl von jeweils nur einen optischen Wellenlängenkanal aufweisende virtuelle optische Sub-Übertragungsnetze aufgeteilt, wobei den in den Sub-Übertragungsnetzen vorhandenen Übertragungsstrecken jeweils die erfindungsgemäßen Linkgewichte zugeordnet werden und zur Ermittlung des den minimalen Verbindungskostenwert aufweisenden Verbindungspfades und des zugehörigen Wellenlängenkanals die Sub-Übertragungsnetze ausgewertet werden. Durch die Aufteilung des transparenten optischen Übertragungssystems in virtuelle optische Sub-Übertragungsnetze mit jeweils einem Wellenlängenkanal und die Zuordnung der erfindungsgemäßen Linkgewichte können bereits für die Wegesuche innerhalb eines Kommunikationsnetzes bekannte Algorithmen wie beispielsweise der "Dijkstra-Algorithmus" unter Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens weiterbenutzt werden.

Besonders vorteilhaft wird das Linkgewicht pro Übertragungsstrecke und Wellenlängenkanal nach folgender Formel ermittelt:

5

$$d_{i,r} = f(i) * d_r$$

mit

i = Nummer der Wellenlängenkanals  
10 r = Nummer der Übertragungsstrecke  
f(i) = Kanalgewichtsfunktion  
d<sub>r</sub> = Lageparameter.

Hierbei stellt die Kanalgewichtsfunktion eine von dem jeweiligen Wellenlängenkanal abhängige Funktion dar, wobei erfindungsgemäß vorteilhafte Ausführungsformen vorgeschlagen werden. Die Kanalgewichtsfunktion kann beispielsweise als eine von dem jeweiligen Wellenlängenkanal abhängige **lineare** Funktion der Form

20

$$f(i) = a + b*i$$

mit

i = Nummer der Wellenlängenkanals  
25 a = ein erster Parameter  
b = ein zweiter Parameter

realisiert werden. Alternativ kann durch die Kanalgewichtsfunktion der Belegungszustand der Wellenlängenkanäle auf den bereits durch weitere Verbindungen belegten Übertragungsstrecken berücksichtigt werden. Hierzu wird der aktuelle Nutzungsgrad jedes Wellenlängenkanals innerhalb des transparenten optischen Übertragungssystem ermittelt oder geschätzt. Eine mögliche Form einer derartigen Kanalgewichtsfunktion als  
35 eine vom Nutzungsgrad des jeweiligen Wellenlängenkanals abhängige Funktion könnte beispielsweise wie folgt realisiert werden:

$$f(i) = g(A_{i,\text{belegt}}/A_{i,\text{gesamt}})$$

mit

$i$  = Nummer des Wellenlängenkanals

$A_{i,\text{belegt}}$  = Anzahl der Übertragungsstrecken, auf  
denen der Wellenlängenkanal  $i$  belegt ist

$A_{i,\text{gesamt}}$  = Anzahl aller Übertragungsstrecken,  
auf denen der Wellenlängenkanal  $i$  physikalisch  
verfügbar ist

$g(\dots)$  = eine beliebige Funktion

10

Eine monoton fallende Funktion  $g()$  hat den Vorteil, dass bereits häufig benutzte Wellenlängenkanäle bei der Ermittlung eines für den Aufbau einer neuen Verbindung erforderlichen Verbindungspfades und dem zugehörigen Wellenlängenkanal bevorzugt werden.

15

Darüber hinaus wird vorteilhaft bei der Ermittlung des von der jeweiligen optischen Übertragungsstrecke abgeleiteten Lagereparameters die Länge der Übertragungsstrecke oder die durch die Übertragungsstrecke hervorgerufene Verzögerung oder weitere technisch oder wirtschaftlich relevante Parameter der optischen Übertragungsstrecke berücksichtigt.

20

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand der beiliegenden Zeichnungen näher erläutert.

25

Hierbei zeigen:

- 30    Figur 1    beispielhaft eine schematische Darstellung eines transparenten optischen Übertragungssystems,  
          Figur 2    eine schematische Darstellung des in mehrere virtuelle optische Sub-Übertragungssysteme überführten transparenten optischen Übertragungssystems,  
35    Figur 3    eine schematische Darstellung der Zuordnung der erfindungsgemäßen Linkgewichte innerhalb der virtuellen optischen Sub-Übertragungssysteme, und

Figur 4 in einer schematischen Darstellung beispielhaft die Belegungszustände eines transparenten optischen Übertragungssystems mit drei Wellenlängenkanälen.

- 5 Figur 1 zeigt ein transparentes optisches Übertragungssystem ASTN (hier: ein automatisch vermittelndes Transportnetz (ASTN = automatically switched transport network)), dass eine Vielzahl von über optische Übertragungsstrecken OS1 bis OS9 miteinander verbundene Netzknoten A, B, C, D, E, F aufweist.
- 10 Ferner sind beispielhaft Teilnehmeranschlusseinrichtungen, insbesondere eine erste und zweite Client-Einrichtung C1, C2 dargestellt, die an zumindest einen der Netzknoten A, B, C, D, E, F des transparenten optischen Übertragungssystem ASTN angeschlossen sind. Im betrachteten Ausführungsbeispiel sind
- 15 ein erster bis sechster Netzknoten A bis F vorgesehen, wobei der erste Netzknoten A über eine erste optische Übertragungsstrecke OS1 mit dem zweiten Netzknoten B und über eine zweite optische Übertragungsstrecke OS2 mit dem dritten Netzknoten C verbunden ist. Der zweite Netzknoten B ist seinerseits über
- 20 eine dritte optische Übertragungsstrecke OS3 mit dem dritten Netzknoten C und über eine vierte optische Übertragungsstrecke OS4 mit dem vierten Netzknoten D verbunden. Ferner ist der dritte Netzknoten C über eine fünfte optische Übertragungsstrecke OS5 an den vierten Netzknoten D und über eine
- 25 sechste optische Übertragungsstrecke OS6 an den fünften Netzknoten E angeschlossen, der über eine siebte optische Übertragungsstrecke OS7 mit dem vierten Netzknoten D und über eine achte optische Übertragungsstrecke OS8 mit dem sechsten Netzknoten F verbunden ist. Der vierte und sechste Netzknoten
- 30 D, F sind über eine neunte optische Übertragungsstrecke OS9 miteinander verbunden. Darüber hinaus ist an den ersten Netzknoten A über eine erste Anschlußleitung ANL1 die erste Client-Einrichtung C1 und an den sechsten Netzknoten F über eine zweite Anschlußleitung ANL2 die zweite Client-Einrichtung C2 angeschlossen. Die Client-Einrichtungen C1, C2 können
- 35 beispielsweise als SDH-, ATM-, oder IP-Clienteinrichtungen ausgestaltet sein, z.B. als IP-Router (SDH = Synchronous Di-

gital Hierarchy, ATM = Asynchronous Transfer Modus, IP = Internet Protocol).

Ferner wird zur Übertragung von optischen Signalen os innerhalb des transparenten optischen Übertragungssystems ASTN beispielsweise das WDM-Datenübertragungsverfahren verwendet (WDM = Wavelength Division Multiplex bzw. Wellenlängen-Multiplex). Aufgrund der Wellenlängenmultiplextechnologie können über jede im transparenten optischen Übertragungssystem ASTN vorhandene optische Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 unter Nutzung jeweils verschiedener Wellenlängenkanäle wk1 bis wkn gleichzeitig mehrere optische Signale os, insbesondere WDM-Kanäle, übertragen werden. Hierzu weisen die optischen Übertragungsstrecken OS1 bis OS9, die beispielsweise aus einem Lichtwellenleiterbündel oder aus einem oder mehreren einzelnen Lichtwellenleitern aufgebaut sind, jeweils mehrere Wellenlängenkanäle wk1 bis wkn auf, wobei die Anzahl der Wellenlängenkanäle wk1 bis wkn von optischer Übertragungsstrecke zu optischer Übertragungsstrecke variieren kann. Über einen der ersten bis n-ten Wellenlängenkanäle wk1 bis wkn erfolgt nach dem Aufbau der Verbindung zwischen der ersten und zweiten Client-Einrichtung C1, C2 die Übertragung der optischen Signale os. Im dargestellten Ausführungsbeispiel weist jede der ersten bis neunten optischen Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 jeweils n Wellenlängenkanäle wk1 bis wkn auf.

Das in Figur 1 dargestellte transparente optische Übertragungssystem ASTN wird in eine Anzahl von jeweils nur einen optischen Wellenlängenkanal wk1 bis wkn aufweisende virtuelle optische Subübertragungsnetze Sub1 bis Subn überführt, wobei jedes virtuelle optische Subübertragungsnetz Sub1 bis Subn jeweils einen netzweit zugeordneten Wellenlängenkanal wk1 bis wkn aufweist.

In Figur 2 ist anhand einer schematischen Darstellung das transparente optische Übertragungssystem ASTN der Figur 1 beispielhaft nach der Überführung in ein erstes, zweites bis n-tes virtuelles optisches Subübertragungsnetz Sub1 bis Subn

dargestellt, wobei innerhalb des ersten virtuellen Subübertragungsnetzes Sub1 der erste Wellenlängenkanal wk1 für die Übertragung der optischen Signale os auf den optischen Übertragungsstrecken OS1 bis OS9 vorgesehen ist. Innerhalb des  
5 zweiten virtuellen Subübertragungsnetzes Sub2 ist der zweite Wellenlängenkanal wk2 und innerhalb des n-ten virtuellen Subübertragungsnetzes Subn der n-te Wellenlängenkanal wkn zur Übertragung der optischen Signale os vorgesehen. Die dazwischen liegenden virtuellen optischen Subübertragungsnetze  
10 Sub3 bis Subn-1 sind durch eine punktierte Linie angedeutet.

Eine derartige schematische Darstellung verdeutlicht die Umformulierung des dynamischen RWA-Problems zu dessen vereinfachter Lösung. Beispielsweise können durch eine derartige  
15 Umformulierung des dynamischen RWA-Problems mit Hilfe von bekannten Algorithmen beispielsweise des Dijkstra-Algorithmus für den gewünschten Verbindungsaufbau geeignete Verbindungspfade mit unbelegten Wellenlängenkanälen wk1 bis wkn ermittelt werden. Hierbei weisen die virtuellen optischen Subübertragungsnetze Sub1 bis Subn jeweils denselben Aufbau wie das  
20 ursprüngliche optische Übertragungssystem ASTN auf, d.h. dieselbe Anzahl an Netzknoten A bis F sowie dieselbe Anzahl an optischen Übertragungsstrecken OS1 bis OS9.

25 Die einzelnen virtuellen optischen Subübertragungsnetze Sub1 bis Subn sind nicht untereinander verbunden, d.h. das betrachtete optische Übertragungssystem ASTN weist keine Wellenlängenkonverter auf. Die einzelnen Subübertragungsnetze Sub1 bis Subn sind jeweils über genau einen Netzknoten A, F  
30 mit der ersten bzw. zweiten Client-Einrichtungen C1, C2 verbunden. Ferner wird jeder optischen Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 jeweils ein Linkgewicht  $d_i$  zugeordnet, welches im betrachteten Ausführungsbeispiel dem Lageparameter  $d_i$  entspricht. Bei der Ermittlung des von der jeweiligen optischen  
35 Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 abgeleiteten Lageparameters  $d_i$  wird beispielsweise die Länge der Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 oder die durch die Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 hervorgerufene Verzögerung oder weitere technisch oder wirt-

schaftlich relevante Parameter der jeweiligen optischen Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 berücksichtigt. Hierbei wird jeder optischen Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 innerhalb der virtuellen optischen Subübertragungsnetze Sub1 bis Subn jeweils dasselbe Linkgewicht  $d_r$  zugeordnet, d.h. im ersten Subübertragungsnetz Sub1 weist die erste optische Übertragungsstrecke OS1 dasselbe Linkgewicht  $d_r$  auf wie beispielsweise innerhalb des zweiten virtuellen optischen Subübertragungsnetzes Sub2. Der Index  $r$  deutet jeweils die Nummer der optischen Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 an.

In Figur 3 wird der erste Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand des bereits in Figur 2 dargestellten Schichtenmodells erläutert. Das in  $n$  virtuelle optische Subübertragungsnetze Sub1 bis Subn überführte optische Übertragungssystem ASTN wird mit Hilfe eines geeigneten Suchalgorithmus, beispielsweise des Dijkstra-Algorithmus, daraufhin untersucht, ob ein die für den Verbindungsaufbau erforderlichen Rahmenbedingungen aufweisender Verbindungspfad zwischen beispielsweise der ersten und zweiten Clienteinrichtungen C1, C2 vorhanden ist. Gemäß der vorgeschlagenen Lösung wird ein von der optischen Übertragungsstrecke und von dem betrachteten Wellenlängenkanal abhängiges Linkgewicht  $d_{i,r}$  individuell für jede optische Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 und jeden Wellenlängenkanal wk1 bis wkn des optischen Übertragungssystems ASTN ermittelt, d.h. jeder optischen Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 der virtuellen optischen Subübertragungsnetze Sub1 bis Subn wird jeweils ein von dem betrachteten Wellenlängenkanal wk1 bis wkn und von den Eigenschaften der optischen Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 abhängiges Linkgewicht  $d_{i,r}$  zugeordnet. Das neuartige Linkgewicht  $d_{i,r}$  pro Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 und Wellenlängenkanal wk1 bis wkn wird gemäß der folgenden Formel ermittelt:

$$d_{i,r} = f(i) * d_r$$

Der Index  $i$  des Linkgewicht  $d_{i,r}$  bezeichnet die Nummer  $i$  des Wellenlängenkanals wk1 bis wkn und der Index  $r$  die Nummer  $r$

der Übertragungsstrecke OS1 bis OS9. Das Linkgewicht  $d_{i,r}$  wird gemäß der Formel aus dem Produkt einer Kanalgewichtsfunktion  $f(i)$  und des Lageparameters  $d_r$  gebildet. Das Linkgewicht  $d_{i,r}$  setzt sich somit aus einem die Lage  $r$  im ursprünglichen transparenten optischen Übertragungssystem ASTN berücksichtigenden Lageparameter  $d_r$  und einer vom jeweiligen Wellenlängenkanal  $wk1$  bis  $wkn$  abhängigen Kanalgewicht  $e_i$  zusammen. Das Kanalgewicht  $e_i$  bezeichnet den Wert der Kanalgewichtsfunktion  $f(i)$  für den Wellenlängenkanal  $wk1$  bis  $wkn$  mit Index  $i$ . Das Kanalgewicht  $e_i$  wird mit Hilfe der Kanalgewichtsfunktion  $f(i)$  netzweit ermittelt und dem zugehörigen virtuellen optischen Subübertragungsnetz Sub1 bis Subn zugeordnet. In Figur 3 sind die ermittelten Linkgewichte  $d_{i,r}$  jeweils als Produkt aus dem netzweiten Kanalgewicht  $e_i$  und dem Lageparameter  $d_r$  dargestellt und den zugehörigen optischen Übertragungsstrecken OS1 bis OS9 in den einzelnen virtuellen optischen Subübertragungsnetzen Sub1 bis Subn zugeordnet. Hierbei weist das erste virtuelle optische Subübertragungsnetz Sub1 Linkgewichte  $d_{i,r}$  auf, die als Produkt aus dem ersten netzweiten Kanalgewicht  $e_1$  und dem jeweils zugehörigen Lageparameter  $d_r$  dargestellt sind. Analog hierzu weisen das zweite bis  $n$ -te virtuelle optische Subübertragungsnetz Subn Linkgewichte  $d_{i,r}$  auf, die jeweils als Produkt aus dem zweiten bis  $n$ -ten netzweiten Kanalgewicht  $e_2$  bis  $e_n$  und dem jeweils zugehörigen Lageparameter  $d_r$  realisiert sind.

Zur Ermittlung des netzweiten Kanalgewichtes  $e_i$  wird eine von dem jeweiligen Wellenlängenkanal  $wk1$  bis  $wkn$  abhängige Kanalgewichtsfunktion  $f(i)$  gebildet. Eine derartige Kanalgewichtsfunktion  $f(i)$  kann als eine von dem jeweiligen Wellenlängenkanal  $wk1$  bis  $wkn$  linear abhängige Funktion der Form

$$f(i) = a + b \cdot i$$

mit

$i$  = Nummer der Wellenlängenkanals  
 $a$  = ein erster Parameter  
 $b$  = ein zweiter Parameter

realisiert werden. Darüber hinaus kann alternativ durch die Kanalgewichtsfunktion  $f(i)$  der Belegungszustand der Wellenlängenkanäle  $wk1$  bis  $wkn$  auf den bereits durch Verbindungen belegten optischen Übertragungsstrecken  $OS1$  bis  $OS9$  berücksichtigt werden, wobei hierzu der aktuelle Benutzungsgrad jedes optischen Wellenlängenkanals  $wk1$  bis  $wkn$  innerhalb des transparenten optischen Übertragungssystems ASTN ermittelt bzw. geschätzt wird.

10

Eine vom Nutzungsgrad des jeweiligen Wellenlängenkanals  $wk1$  bis  $wkn$  abhängige Kanalgewichtsfunktion  $f(i)$  weist beispielsweise folgende Form auf:

15 
$$f(i) = g(A_{i, \text{belegt}} / A_{i, \text{gesamt}})$$

mit

$i$  = Nummer des Wellenlängenkanals

$A_{i, \text{belegt}}$  = Anzahl der Übertragungsstrecken, auf denen der Wellenlängenkanal  $i$  belegt ist

20  $A_{i, \text{gesamt}}$  = Anzahl aller Übertragungsstrecken, auf denen der Wellenlängenkanal physikalisch verfügbar ist

$g(\dots)$  = eine beliebige Funktion.

25 Die mit Hilfe der erwähnten Kanalgewichtsfunktionen  $f(i)$  ermittelten netzweiten Kanalgewichte  $e_i$  werden wie in Figur 3 angedeutet jeweils den zugehörigen optischen Übertragungsstrecken  $OS1$  bis  $OS9$  bzw. den zugehörigen virtuellen optischen Subübertragungsnetzen  $Sub1$  bis  $Subn$  zugeordnet. Diese Zuordnung wird beispielsweise mit Hilfe einer zentral angeordneten Steuereinheit realisiert. Hierbei wird durch das netzweite Kanalgewicht  $e_i$  insbesondere ausgedrückt, dass einige Wellenlängenkanäle  $wk1$  bis  $wkn$  für einen geplanten Verbindungsaufbau günstiger sind als andere.

35

In Figur 4 werden die Vorteile des vorgeschlagenen Verfahrens am Beispiel des betrachteten transparenten optischen Übertragungssystems ASTN mit einem ersten, zweiten und dritten Wel-

lenlängenkanal wk1 bis wk3 pro optischer Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 erläutert. Im Unterschied zum zuvor betrachteten transparenten optischen Übertragungssystem ASTN ist die zweite Client-Einrichtung C2 über die zweite Anschlußleitung ANL2 an den vierten Netzknoten D angeschlossen. Im folgenden wird für den Aufbau einer Verbindung zwischen der ersten und zweiten Client-Einrichtung C1, C2 ein geeigneter Verbindungspfad VP und ein zugehöriger Wellenlängenkanal wk1 bis wk3 ermittelt.

10

Im betrachteten transparenten optischen Übertragungssystem ASTN weisen die ersten bis dritten Wellenlängenkanäle wk1 bis wk3 der ersten bis neunten optischen Übertragungsstrecken OS1 bis OS9 folgende Belegungen auf, wobei eine logische 0 die Belegung des betrachteten Wellenlängenkanals wk1 bis wk3 und eine logische 1 die Nicht-Belegung des betrachteten Wellenlängenkanals wk1 bis wk3 bezeichnet:

15

| Optische Übertragungsstrecke | wk1 | wk2 | wk3 |
|------------------------------|-----|-----|-----|
| OS1                          | 1   | 0   | 1   |
| OS2                          | 0   | 1   | 0   |
| OS3                          | 1   | 1   | 1   |
| OS4                          | 0   | 1   | 0   |
| OS5                          | 0   | 0   | 1   |
| OS6                          | 1   | 0   | 1   |
| OS7                          | 0   | 1   | 1   |
| OS8                          | 1   | 1   | 1   |
| OS9                          | 1   | 1   | 1   |

Tabelle 1:

20

Die drei Wellenlängenkanäle dieses Beispiels sind bezüglich ihrer Übertragungseigenschaften gleichwertig, und ihre Anordnung ist willkürlich.

25 Für den Verbindungsaufbau zwischen dem ersten Netzknoten A und dem vierten Netzknoten D sind gemäß der Belegungszustände des ersten bis dritten Wellenlängenkanals wk1 bis wk3 auf

den optischen Übertragungsstrecken OS1 bis OS9 ein erster, zweiter und ein dritter Verbindungspfad VP1, VP2, VP3 möglich.

5 Der erste Verbindungspfad VP1 verläuft vom ersten Netzknoten A über die erste optische Übertragungsstrecke OS1 zum zweiten Netzknoten B und von dort über die dritte optische Übertragungsstrecke OS3 zum dritten Netzknoten C. Vom dritten Netzknoten C führt der erste Verbindungspfad VP1 weiter über die  
10 sechste optische Übertragungsstrecke OS6 zum fünften Netzknoten E und von diesem wiederum über die achte optische Übertragungsstrecke OS8 zum sechsten Netzknoten F. Schließlich führt der erste Verbindungspfad vom sechsten Netzknoten F über die neunte optische Übertragungsstrecke OS9 zum fünften  
15 Netzknoten D. Der erste Verbindungspfad VP1 verläuft somit über **fünf** optische Übertragungsstrecken OS1, OS3, OS6, OS8, OS9. Auf dem ersten Verbindungspfad VP1 ist der erste Wellenlängenkanal wk1 noch unbelegt und somit für den geplanten Verbindungsaufbau verfügbar.

20 Der zweite Verbindungspfad VP2 verläuft vom ersten Netzknoten A über die zweite optische Übertragungsstrecke OS2 zum dritten Netzknoten C und von dort über die dritte optische Übertragungsstrecke OS3 zum zweiten Netzknoten B. Vom zweiten  
25 Netzknoten B führt der zweite Verbindungspfad VP2 über die vierte optische Übertragungsstrecke OS4 zum vierten Netzknoten D. Somit weist der zweite Verbindungspfad VP2 **drei** optische Übertragungsstrecken OS2, OS3, OS4 auf, wobei für den Verbindungsaufbau der zweite Wellenlängenkanal wk2 verfügbar  
30 ist.

Der dritte Verbindungspfad VP3 führt vom ersten Netzknoten A ebenfalls über die erste optische Übertragungsstrecke OS1 zum zweiten Netzknoten B und von diesem über die dritte optische  
35 Übertragungsstrecke OS3 zum dritten Netzknoten C. Der letzte Abschnitt des dritten Verbindungspfades VP3 verläuft vom dritten Netzknoten C über die fünfte optische Übertragungsstrecke OS5 zum vierten Netzknoten D. Insgesamt weist der

dritte Verbindungspfad VP3 **drei** optische Übertragungsstrecken OS1, OS3, OS5 auf, auf denen jeweils der dritte Wellenlängenkanal wk3 unbelegt ist und somit für einen Verbindungsaufbau zur Verfügung steht.

5

Somit ergeben sich für den Aufbau einer Verbindung von der ersten Client-Einrichtung C1 über das transparente optische Übertragungssystem ASTN zur zweiten Client-Einrichtung C2 drei Verbindungspfade VP1 bis VP3 mit unterschiedlicher Länge, d.h. Anzahl an optischen Übertragungsstrecken OS1 bis OS9. Diese drei Verbindungspfade VP1 bis VP3 sind in der folgenden Tabelle einander gegenübergestellt.

10

| Verbindungs-<br>pfad | Wellen-<br>längen-<br>kanal<br>i | Länge<br>l | Nutzungsgrad<br>$b_i = A_{i, \text{belegt}} / A_{i, \text{gesamt}}$ | Verbin-<br>dungskos-<br>ten<br>$(1+i) \cdot l$ | Verbin-<br>dungskos-<br>ten<br>$(1-b_i) \cdot l$ |
|----------------------|----------------------------------|------------|---|--|--|
| VP1                  | 1                                | 5          | 4/9   | 10   | 25/9   |
| VP2                  | 2                                | 3          | 3/9   | 9  | 18/9   |
| VP3                  | 3                                | 3          | 2/9   | 12   | 21/9   |

15 Tabelle 2:

Diese Tabelle enthält neben der Nummer i des zugehörigen Wellenlängenkanals wk1 bis wk3 und der Länge l des Verbindungspfad VP1 bis VP3 den Nutzungsgrad  $b_i = A_{i, \text{belegt}} / A_{i, \text{gesamt}}$  des jeweiligen virtuellen optischen Subübertragungsnetzes Sub1 bis Sub3. Der zweite Verbindungspfad VP2 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel die günstigste Wahl für den Aufbau der Verbindung zwischen der ersten und zweiten Clienteinrichtung C1, C2. Der zweite Verbindungspfad VP2 ist deutlich kürzer als der erste Verbindungspfad VP1, und das zugehörige zweite Subübertragungsnetz Sub2 weist gegenüber dem des dieselbe Länge l aufweisenden dritten Verbindungspfad VP3 einen höheren Nutzungsgrad  $b_i$  auf.

30 Wird nun als Lageparameter  $d_i = 1$  für die erste bis neunte optische Übertragungsstrecke OS1 bis OS9 gewählt, so ergeben

sich die Verbindungskosten durch Addition der Linkgewichte  $d_{i,r}$  und damit als Produkt der Kanalgewichtsfunktion  $f(i)$  mit der Länge  $l$  des jeweiligen Verbindungspfades VP1 bis VP3. Mit einer linearen, nur von der Nummer  $i$  des jeweiligen Wellenlängenkanals  $wk1$  bis  $wk3$  abhängigen Kanalgewichtsfunktion

$$f(i)=1+i,$$

wobei die Übertragungsstrecken OS1 bis OS9 im ersten virtuellen optischen Subübertragungsnetz Sub1 im Vergleich zu denen im dritten virtuellen optischen Subübertragungsnetz Sub3 im Verhältnis 1:2 gewichtet werden, ergeben sich die Verbindungskosten  $(1+i) \cdot l$  für einen Verbindungspfad der Länge  $l$  bei Verwendung des Wellenlängenkanals  $i$ . Die für das dargestellte Ausführungsbeispiel resultierenden Verbindungskostenwerte sind in der Tabelle 2 aufgeführt.

Alternativ kann eine weitere einfache, nämlich allein vom Nutzungsgrad  $b_i$  abhängige, Kanalgewichtsfunktion  $f(i)$  der folgenden Form gewählt werden:

$$f(i)=(1-b_i).$$

Durch die Implementierung dieser Kanalgewichtsfunktion  $f(i)$  werden besonders vorteilhaft die Subübertragungsnetze Sub1 bis Sub3 mit einem hohem Nutzungsgrad gegenüber solchen mit einem niedrigem Nutzungsgrad bevorzugt. Hierdurch ergeben sich die ebenfalls in der Tabelle 2 aufgeführten Verbindungskosten  $(1-b_i) \cdot l$ . Beide Beispiele mit unterschiedlichen Kanalgewichtsfunktionen liefern jeweils den zweiten Verbindungspfad VP2 als Verbindungspfad mit den geringsten Verbindungskosten.

Im Gegensatz hierzu führen aus dem Stand der Technik bekannte Verfahren durchaus zu unterschiedlichen, weniger befriedigenden Ergebnissen. Die Verwendung der Heuristik "fixed" liefert aufgrund der Priorisierung der Wellenlängenkanäle  $wk1$  bis  $wk3$  als Ergebnis den ersten Verbindungspfad VP1 als verfügba-

ren Verbindungspfad mit dem ersten Wellenlängenkanal  $wk_1$ . Dies hat den Nachteil, dass der deutlich längste Verbindungspfad  $VP_1$  ausgewählt wird.

- 5 Die Heuristik "pack" unterscheidet sich von "fixed" nur dadurch, daß die Ordnung der Wellenlängenkanäle  $wk_1$  bis  $wk_3$  nicht fix ist, sondern vom Nutzungsgrad  $b_i$  abhängt. Im vorliegenden Beispiel ist diese Ordnung aber dieselbe wie bei "fixed" und die Heuristik "pack" liefert somit ebenfalls den  
10 ungünstigen ersten Verbindungspfad  $VP_1$ .

- Die Heuristik "exhaustive" dagegen liefert den zweiten und dritten Verbindungspfad  $VP_2$ ,  $VP_3$ , da diese beiden Verbindungspfade  $VP_2, VP_3$  die gleiche und kleinste Länge  $l=3$  aufweisen. Es ist allerdings unbestimmt, welche dieser beiden Alternativen ausgewählt wird. Ein gravierender Nachteil der Heuristik "exhaustive" zeigt sich erst in optischen Übertragungssystemen, die größer und somit komplexer als das dargestellte Ausführungsbeispiel sind. Hier kann es sein, daß zwei  
15 Verbindungspfade mit sehr ähnlicher Länge ( $l = 11$  und  $12$ ) zur Auswahl stehen, wobei dem kürzeren Verbindungspfad ein sehr viel ungünstigerer Wellenlängenkanal zugeordnet ist als dem nur wenig längeren Verbindungspfad. Die Heuristik "exhaustive" liefert dann den kürzeren Verbindungspfad, der insgesamt  
20 aber deutlich ungünstiger ist als der unwesentlich längere Verbindungspfad. Das hier vorgeschlagene Verfahren gestattet dagegen einen Kompromiß zwischen den beiden Kriterien geringe Länge und günstiger Wellenlängenkanal.

- 25 Das vorgeschlagene Verfahren ist sowohl bei gerichteten als auch bei ungerichteten Verbindungspfaden einsetzbar.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung eines Verbindungspfades (VP) und eines auf den optischen Übertragungsstrecken (OS1 bis OS9)  
5 dieses Verbindungspfades (VP) unbelegten Wellenlängenkanals (wk1 bis wkn) für den Aufbau einer Verbindung über mindestens einen ersten und zweiten Netzknoten (A, F) innerhalb eines transparenten optischen Übertragungssystems (ASTN) mit einer Vielzahl von über optische Übertragungsstrecken (OS1 bis OS9)  
10 miteinander verbundenen weiteren Netzknoten (A bis F),  
- bei dem jeweils ein von der optischen Übertragungsstrecke (OS1 bis OS9) und von dem betrachteten Wellenlängenkanal (wk1 bis wkn) abhängiges Linkgewicht ( $d_{i,r}$ ) für die Wellenlängenkanäle (wk1 bis wkn) einer optischen Übertragungs-  
15 strecke (OS1 bis OS9) ermittelt wird,  
- bei dem für jeden für den Verbindungsaufbau verfügbaren Verbindungspfad (VP1, VP2, VP3) und den zugehörigen Wellenlängenkanal (wk1 bis wkn) durch Auswertung des mindestens einen Linkgewichts ( $d_{i,r}$ ) ein Verbindungskostenwert gebildet  
20 wird, und  
- bei dem für den Aufbau der Verbindung der den minimalen Verbindungskostenwert aufweisende Verbindungspfad (VP2) mit dem zugehörigen Wellenlängenkanal (wk2) ausgewählt wird.
- 25 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass jedem Wellenlängenkanal (wk1 bis wkn) ein netzweites Kanalgewicht ( $e_i$ ) zugeordnet wird.
- 30 3. Verfahren nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das netzweite Kanalgewicht ( $e_i$ ) mit Hilfe einer Kanalgewichtsfunktion ( $f(i)$ ) ermittelt wird.
- 35 4. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das transparente optische Übertragungssystem (ASTN) in eine Anzahl von jeweils nur einen optischen Wellenlängenkanal

- (wk1 bis wkn) aufweisende virtuelle optische Sub-Übertragungsnetze (Sub1 bis Subn) aufgeteilt wird, wobei den in den Sub-Übertragungsnetzen (Sub1 bis Subn) vorhandenen Übertragungsstrecken (OS1 bis OS9) die ermittelten Linkgewichte ( $d_{i,r}$ ) zugeordnet werden und zur Ermittlung des den minimalen Verbindungskostenwert aufweisenden Verbindungspfades (VP2) und des zugehörigen Wellenlängenkanales (wk2) die Sub-Übertragungsnetze (Sub1 bis Subn) ausgewertet werden.
- 10 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Linkgewicht ( $d_{i,r}$ ) pro Übertragungsstrecke (OS1 bis OS9) und Wellenlängenkanal (wk1 bis wkn) nach folgender Formel ermittelt wird:
- 15 
$$d_{i,r} = f(i) * d_r$$
- mit
- i = Nummer der Wellenlängenkanals
- 20 r = Nummer der Übertragungsstrecke
- f(i) = Kanalgewichtsfunktion
- $d_r$  = Lageparameter.
6. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanalgewichtsfunktion (f(i)) als eine von dem jeweiligen Wellenlängenkanal (wk1 bis wkn) abhängige Funktion realisiert wird.
- 30 7. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanalgewichtsfunktion (f(i)) als eine von dem jeweiligen Wellenlängenkanal (wk1 bis wkn) abhängige lineare Funktion der Form
- 35 
$$f(i) = a + b*i$$

mit

23

i = Nummer der Wellenlängenkanals  
a = ein erster Parameter  
b = ein zweiter Parameter.  
realisiert wird.

5

8. Verfahren nach Anspruch 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass durch die Kanalgewichtsfunktion ( $f(i)$ ) der Belegungszu-  
stand der Wellenlängenkanäle ( $wk1$  bis  $wkn$ ) auf den bereits  
10 durch weitere Verbindungen belegten Übertragungsstrecken (OS1  
bis OS9) ausgewertet wird, wobei hierzu der aktuelle Nut-  
zungsgrad jedes Wellenlängenkanals ( $wk1$  bis  $wkn$ ) innerhalb  
des transparenten optischen Übertragungssystem (ASTN) ermit-  
telt oder geschätzt wird.

15

9. Verfahren nach Anspruch 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
die Kanalgewichtsfunktion ( $f(i)$ ) als eine vom dem Nutzungs-  
grad des jeweiligen Wellenlängenkanals ( $wk1$  bis  $wkn$ ) abhängi-  
20 ge Funktion der Form

$$f(i) = g(A_{i, \text{belegt}} / A_{i, \text{gesamt}})$$

mit

i = Nummer des Wellenlängenkanals  
25  $A_{i, \text{belegt}}$  = Anzahl der Übertragungsstrecken, auf  
denen der Wellenlängenkanal i belegt ist  
 $A_{i, \text{gesamt}}$  = Anzahl aller Übertragungsstrecken,  
auf denen der Wellenlängenkanal physikalisch  
verfügbar ist  
30  $g(\dots)$  = eine beliebige Funktion

realisiert wird.

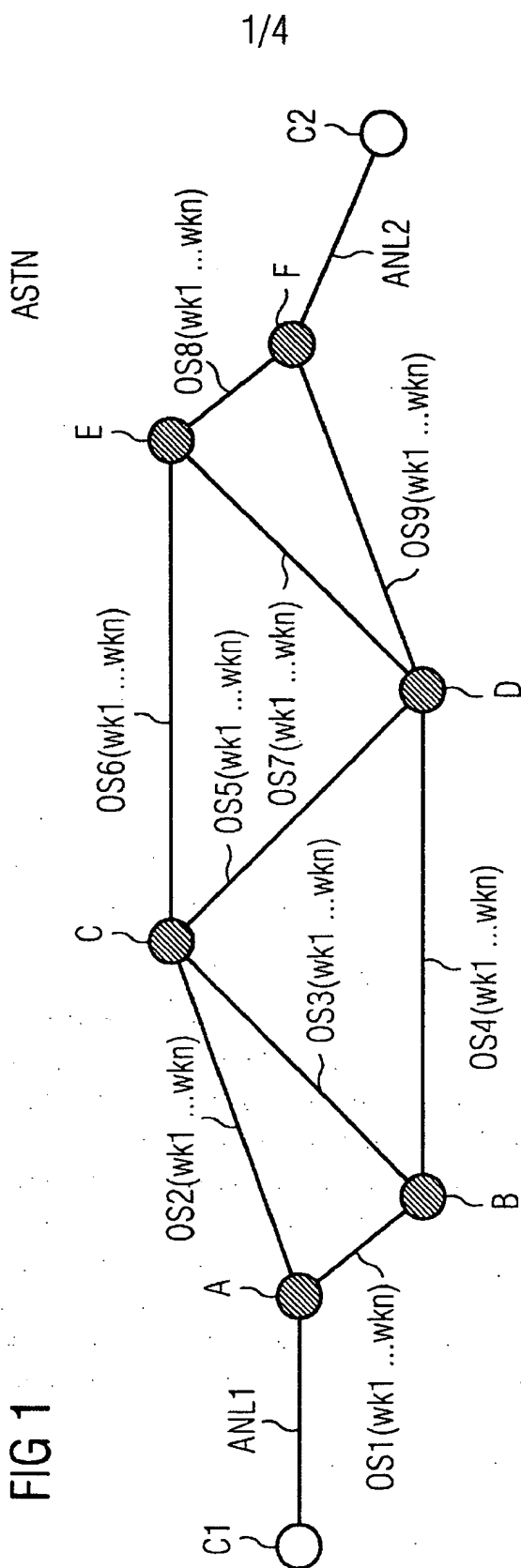
10. Verfahren nach Anspruch 5,  
35 dadurch gekennzeichnet,  
dass bei der Ermittlung des von der jeweiligen optischen Ü-  
bertragungsstrecke (OS1 bis OS9) abgeleiteten Lageparameters  
( $d_z$ ) die Länge der Übertragungsstrecke (OS1 bis OS9) oder die

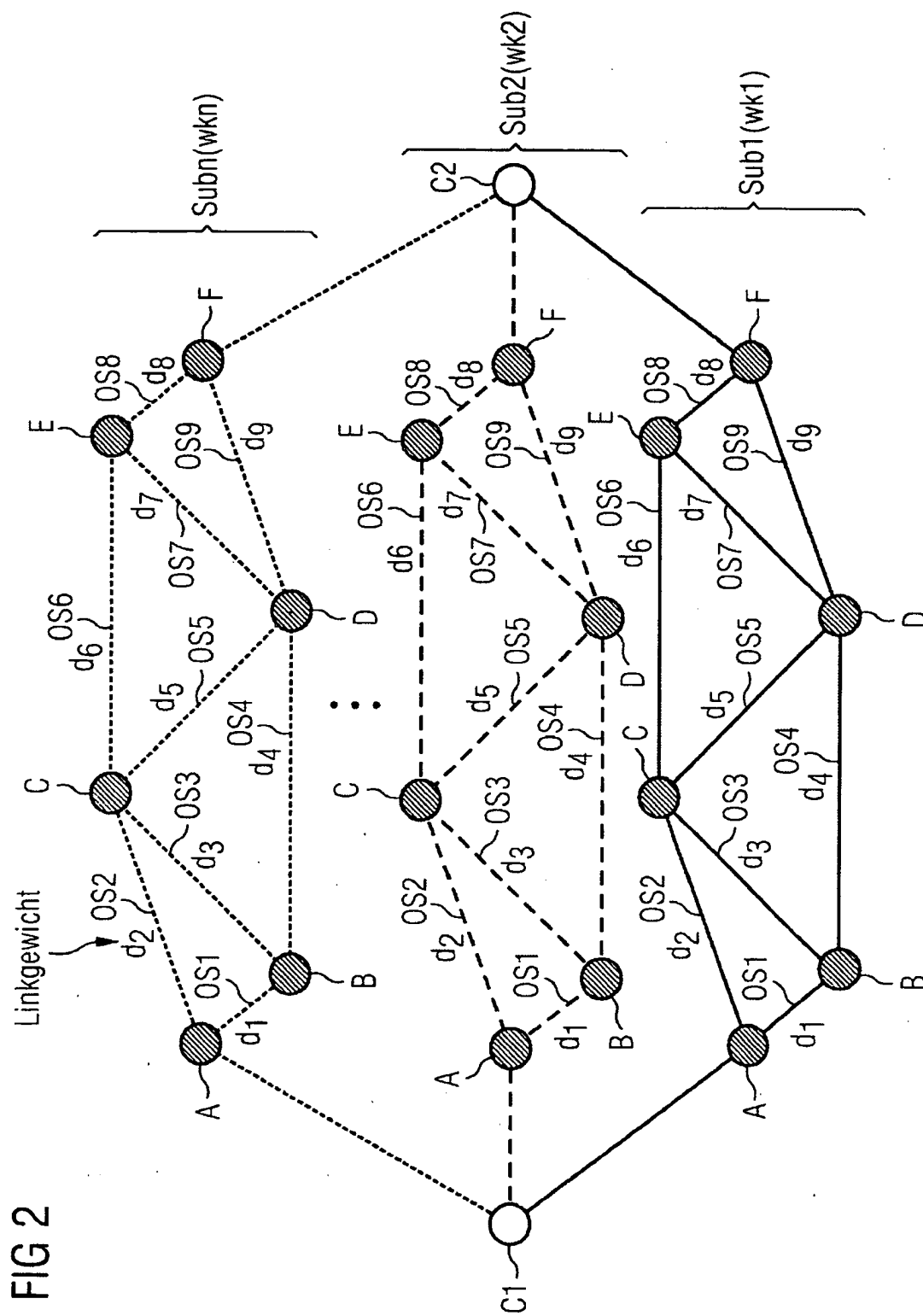
durch die Übertragungsstrecke (OS1 bis OS9) hervorgerufene Verzögerung oder weitere technisch oder wirtschaftlich relevante Parameter der optischen Übertragungsstrecke (OS1 bis OS9) berücksichtigt werden.

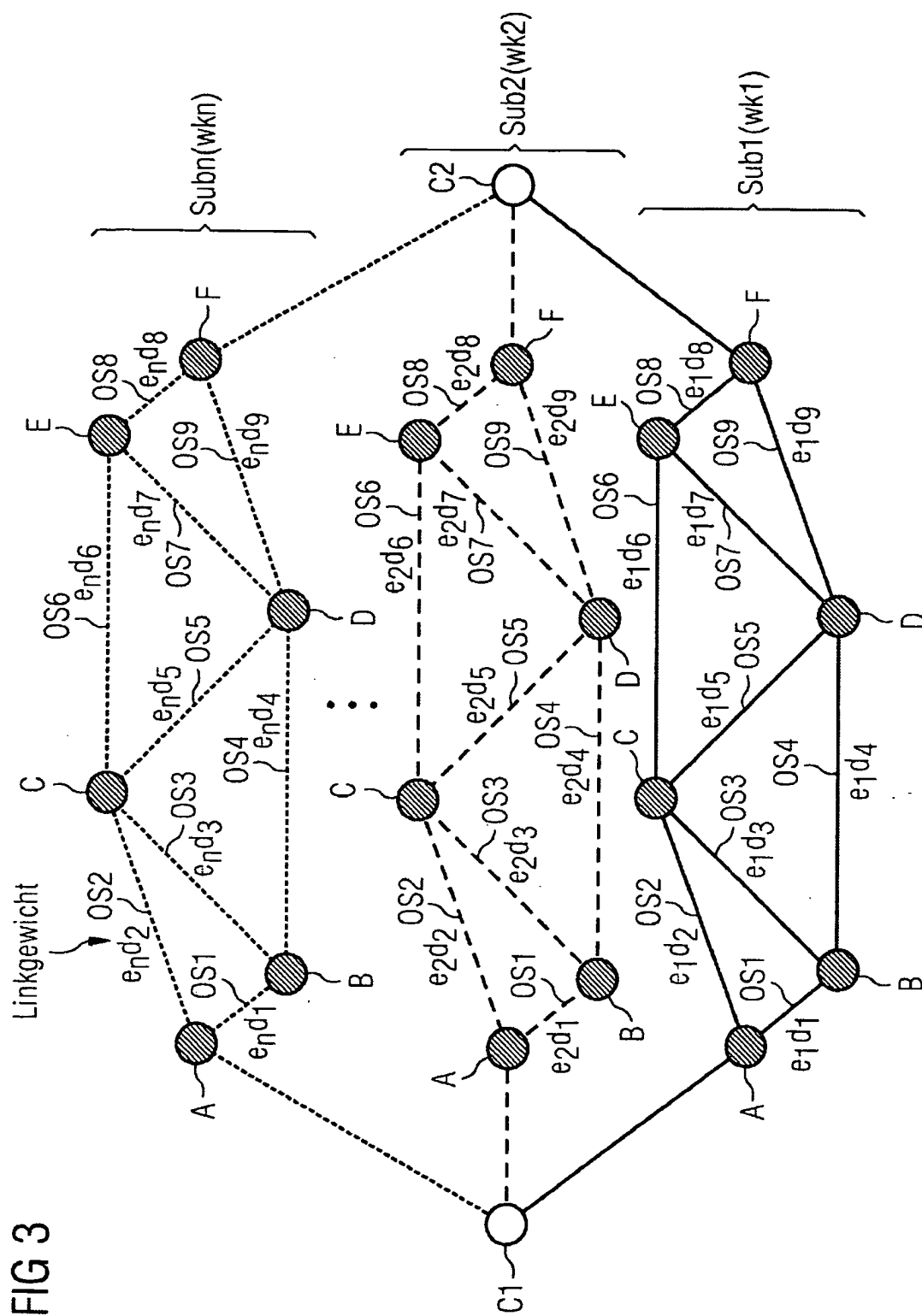
5

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass zur Bildung des Verbindungskostenwertes die einzelnen  
Linkgewichte ( $d_{i,r}$ ) der Übertragungsstrecken für den zugehöri-  
10 gen Wellenlängenkanal (wkl1 bis wkn) addiert werden, die Be-  
standteil des betrachteten Verbindungspfades (VP1 bis VP3)  
sind.

FIG 1

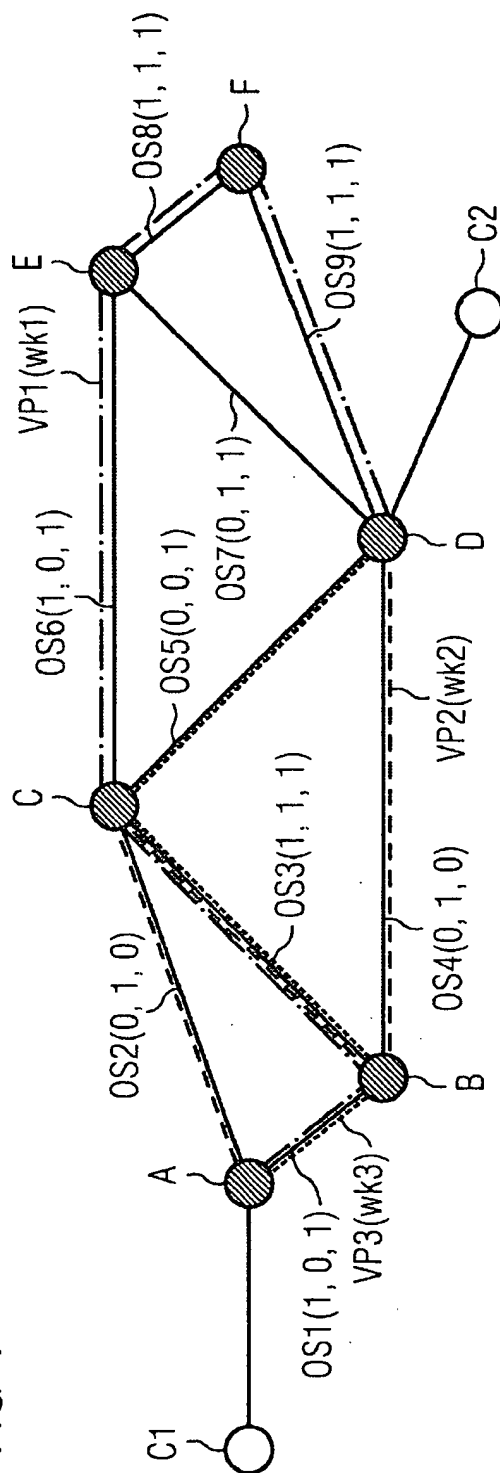






4/4

FIG 4



Neuer Patentanspruch 1

1. Verfahren zur Ermittlung eines Verbindungspfades (VP) und  
eines auf den optischen Übertragungsstrecken (OS1 bis OS9)  
5 dieses Verbindungspfades (VP) unbelegten Wellenlängenkanals  
(wk1 bis wkn) für den Aufbau einer Verbindung über  
mindestens einen ersten und zweiten Netzknoten (A, F)  
innerhalb eines transparenten optischen Übertragungssystems  
(ASTN) mit einer Vielzahl von über optische  
10 Übertragungsstrecken (OS1 bis OS9) miteinander verbundenen  
weiteren Netzknoten (A bis F),  
- bei dem für jeden für den Verbindungsaufbau verfügbaren  
Verbindungspfad (VP1, VP2, VP3) und den zugehörigen  
Wellenlängenkanal (wk1 bis wkn) ein Verbindungskostenwert  
15 gebildet wird und  
- bei dem für den Aufbau der Verbindung der den minimalen  
Verbindungskostenwert aufweisende Verbindungspfad (VP2) mit  
dem zugehörigen Wellenlängenkanal (wk2) ausgewählt wird,  
dadurch gekennzeichnet,  
20 - dass jeweils ein von den Eigenschaften der optischen  
Übertragungsstrecke (OS1 bis OS9) und von dem betrachteten  
Wellenlängenkanal (wk1 bis wkn) abhängiges Linkgewicht  
( $d_{i,r}$ ) für jeden Wellenlängenkanal (wk1 bis wkn) einer  
optischen Übertragungsstrecke (OS1 bis OS9) ermittelt wird  
25 und  
- dass der Verbindungskostenwert durch Auswertung des  
mindestens einen Linkgewichts ( $d_{i,r}$ ) gebildet wird.

## International Application No.

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

### B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**EPO-Internal**

### C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category \*

Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages

Relevant to claim No.

**X**

WO 03/047144 A (MAIER GUIDO ALBERTO ;  
PATTAVINA ACHILLE (IT); PIRELLI (IT); DE  
PATRE S) 5 June 2003 (2003-06-05)

1-6, 10,  
11

**A**

page 1, line 3 - line 5  
page 2, line 18 - line 28  
page 4, line 17 - line 22  
page 5, line 5 - line 15; figure 2  
page 5, line 23 - line 29  
page 13, line 32 - line 34  
page 14, line 13 - line 19  
page 15, line 27 - page 16, line 8; figure 5  
page 16, line 23 - page 17, line 2; figure 6a  
page 17, line 11 - line 21

7-9

— / —

**X**

Further documents are listed in the continuation of box C.

☒

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

'&' document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 October 2004

Date of mailing of the international search report

02/11/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Alonso Martin, M.E.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/051477

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
|------------|---|-----------------------|
| X          | US 2002/159114 A1 (MUKHERJEE BISWANATH ET AL) 31 October 2002 (2002-10-31)<br>paragraph '0002!<br>paragraph '0011!<br>paragraph '0013! - paragraph '0014!<br>paragraph '0059! - paragraph '0061!<br>-----                     | 1-3,8,9,<br>11        |
| X          | US 6 538 777 B1 (BARRY RICHARD A ET AL) 25 March 2003 (2003-03-25)<br>column 1, line 52 - line 64<br>column 6, line 6 - column 12, line 18<br>-----   | 1-6,8-11              |
| E          | WO 2004/062313 A (INTEL CORP) 22 July 2004 (2004-07-22)<br>paragraph '0001!<br>paragraph '0051! - paragraph '0054!<br>paragraph '0058!<br>paragraph '0061! - paragraph '0062!<br>paragraph '0074! - paragraph '0075!<br>----- | 1-3,5,6,<br>8,10,11   |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/051477

| Patent document<br>cited in search report |    | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date |
|---|----|---------------------|----------------------------|---------------------|
| WO 03047144                               | A  | 05-06-2003          | WO 03047144 A1             | 05-06-2003          |
|   |    |                     | EP 1449320 A1              | 25-08-2004          |
| <hr/>                                     |    |                     |                            |                     |
| US 2002159114                             | A1 | 31-10-2002          | NONE                       |                     |
| <hr/>                                     |    |                     |                            |                     |
| US 6538777                                | B1 | 25-03-2003          | NONE                       |                     |
| <hr/>                                     |    |                     |                            |                     |
| WO 2004062313                             | A  | 22-07-2004          | US 2004120261 A1           | 24-06-2004          |
|   |    |                     | WO 2004062313 A1           | 22-07-2004          |
| <hr/>                                     |    |                     |                            |                     |